

УДК 553.086

**УРАНСОДЕРЖАЩИЕ МИНЕРАЛЫ ИЗ МЕТАПСЕВДОТАХИЛИТА
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЩЕЛОЧНОЙ ПОЛОСЫ ВИШНЕВО-ИЛЬМЕНОГОРСКОГО
ПОЛИМЕТАМОРФИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА (ЮЖНЫЙ УРАЛ)**

А.Б. Немов¹, Е.В. Медведева¹, В.А. Котляров²

¹*Ильменский государственный заповедник, г. Миасс, Челябинская обл., 456317 Россия;
ya.andrew808@yandex.ru*

²*Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс, Челябинская обл., 456317 Россия*

**U-BEARING MINERALS OF METAPSEUDOTACHILITE OF THE CENTRAL
ALKALINE BAND OF THE VISHNEVO-ILMENOGORSKY
POLYMETAMORPHIC COMPLEX (SOUTH URALS)**

A.B. Nemov¹, E.V. Medvedeva¹, V.A. Kotlyarov²

¹*Ilmeny State Reserve, Miass, Chelyabinsk district, 456317 Russia; ya.andrew808@yandex.ru*

²*Institute of Mineralogy UB RAS, Miass, Chelyabinsk district, 456317 Russia*

Среди пород центральной щелочной полосы вишнево-ильменогорского полиметаморфического комплекса обнаружено тело метапсевдотахилита с Th-U-Y-REE минерализацией, представленной богатой вкрапленностью фергусонита-(Y) с содержанием UO₂ до 7 мас. % и редкими индивидами «торогуммита» с содержанием UO₂ до 29 мас. %. Исследование минералов, содержащих редкие и редкоземельные элементы, их типоморфных ассоциаций, а также генезиса их вмещающих пород позволяет существенно расширить потенциальные возможности прогноза и оценки распределения этих минералов в метаморфических комплексах.

Илл. 3. Табл. 2. Библ. 21.

Ключевые слова: вишнево-ильменогорский полиметаморфический комплекс, метапсевдотахилит, фергусонит-(Y), «торогуммит».

A body of metapsevdotahylite with Th-U-Y-REE mineralization including fergusonite-(Y) (up to 7 wt. % UO₂) and «thorogummite» (up to 29 wt. % UO₂) was found in the central alkaline band of the Ilmeny-Vishnevogorsky polymetamorphic complex. The study of minerals with rare and rare earth elements, their assemblages, and the genesis of host rocks significantly expand the potential of prediction and evaluation of the distribution of these minerals in metamorphic complexes.

Figures 3. Table 2. References 21.

Key words: Ilmeno-Vishnevogorsky polymetamorphic complex, metapsevdotachylyte, fergusonite-(Y), «thorogummite»

Введение

Фергусонит-(Y) Y(Nb,Ta)O₄ и «торогуммит» ThU(SiO₄)_{1-x}(OH), представляющий продукт метамиктного распада и гидратации торита, являются редкими минералами, способными содержать Th,

U, Zr, Hf, Ti, REE, Y, Ca и Fe в позиции А. Содержание UO₂ в фергусоните может достигать 8 мас. % (Макагонов, Муфтахов, 2015), а в продуктах изменения торита – до 80 мас. % (Ерохин и др., 2010). На территории вишнево-ильменогорского полиметаморфического комплекса (ВИПК) из-

вестны находки торогуммита-(Y,Ce) в северной части комплекса (Курочкин лог, г. Долгая, жила 35); фосфатного торогуммита-(PO₄) (восточнее оз. Ильменского копь № 69); фергусонита-(Y) (копь № 50, 298, 400) (Кобяшев, Никандров, 2007; <https://webminerals.ru>). Фергусонит и торит характерны для метасоматически преобразованных (альбититы и грейзены) пород гранитоидного и сиенитового составов нормального и щелочно-рядов (Минералы..., 1967; Минералы..., 1972). Нами эти минералы были обнаружены среди пород центральной щелочной полосы вишнево-ильменогорского полиметаморфического комплекса в теле метапсевдотахилита. В данной работе отражены результаты определения минералов-концентраторов Th-U-Y-REE и их генезиса.

Методы исследования

Текстурно-структурные особенности породы были исследованы на микроскопе Olimpus BX 51 в Естественно-Научном музее Ильменского государственного заповедника (г. Миасс). Содержания редкоземельных, редких и рассеянных элементов в породе определены методом ИСП-МС на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Agilent 7700x в Институте минералогии УрО РАН (г. Миасс, аналитики К.А. Филиппова, М.С. Свиренко). Состав минералов проанализирован на растворе электронном микроскопе РЭММА-202 М с энергодисперсионной приставкой LZ Link Systems с Si-Li детектором в Институте минералогии УрО РАН (г. Миасс, аналитик В.А. Котляров) с использованием AstJMEХ scientific Limited MJNM 25-53 Mineral Mount serial № 01-44 в качестве стандарта. Режим съемки: разрешение детектора 160 эВ, ускоряющее напряжение 20–30 кВ, сила тока $3 \cdot 10^{-3}$ А, диаметр пучка 1–2 мкм. Коррекция данных производилась с использованием программы Magellanes.

Геологическое положение объекта исследования

Комплекс щелочных пород ВИПК представлен Ильменогорским (на юге) и Вишневогорским (на севере) миаскиновыми массивами, соединенными Центральной щелочной полосой (ЦЩП) интенсивно дислоцированных щелочных сиенитовых пород, включающую тела карбонатитов, метасоматитов, а также глыбообразные тела метаморфических

и магматических пород (Юрецкий и др., 1982). В районе исследования (впадения р. Миасс в водохранилище Аргази; рис. 1а) ЦЩП имеет мощность 100–150 м и ограничивается с запада цепью тел миаскинов, а с востока – фенитов, вмещающими для которых служат породы селянкинской толщи (Левин и др., 1997; Ленных, Вализер, 2006). Все породы интенсивно милонитизированы (Кошевой, 1985; Ворожук, 2001).

Линзовидное тело меланократовых кварц-биотит-полевошпатовых пород (3 × 2 м) расположено среди пород сиенитового состава, представленных перемежающимися линзовидными телами милонитизированных миаскинов, сиенитов и фенитов неясного генезиса, пронизано сетью ветвящихся темно-серых прожилков метапсевдотахилита (см. рис. 1б, в). Граница с вмещающими породами выражена четко. Структурно-текстурные особенности вмещающих пород свидетельствуют о развитии в них хрупко-пластичных деформаций, фиксирующих условия формирования от амфиболитовой до зеленосланцевой фации метаморфизма, на этапе 270–240 млн лет (Hetzl, Glondy, 2002; Медведева и др., 2013; Немов, 2014).

Вмещающая кварц-биотит-полевошпатовая порода имеет мелкозернистую структуру, тонкопрожилковую текстуру. Метапсевдотахилиты имеют тонко- или криптозернистую структуру. Минеральный состав кварц-биотит-полевошпатовой породы: альбит 65–80 %, К-Na полевой шпат 10–15 %, биотит 5–8 %, кварц 5–7 %, акцессорные ильменит, апатит, кальцит, циркон, титаномагнетит, «торогуммит», фергусонит-(Y) 3–5 %. В породе хорошо заметны две составляющих (рис. 2): матрикс, представленный катаклазированными и перекристаллизованными зернами полевых шпатов, и темные прожилки метапсевдотахилита, состоящие из тонкозернистого материала биотит-кварц-альбитового состава и тонкодисперсных рудных минералов (Скляров и др., 2001; Кирмасов, 2011).

Химический состав породы (мас. %: SiO₂ 70.34; TiO₂ 0.35; Al₂O₃ 13.47; FeO 1.73; Fe₂O₃ 1.54; MnO 0.06; MgO 0.33; CaO 2.48; Na₂O 6.35; K₂O 0.66; P₂O₅ 0.14; п.п.п 2.24; ∑ 99.69) соответствует граниту нормальной щелочности (Петрографический..., 2008). Порода характеризуется высокими содержаниями РЗЭ (г/т: La 88.2; Ce 166; Pr 17.5; Nd 59.9; Sm 9.79; Eu 1.51; Gd 8.34; Tb 1.33; Dy 6.80; Ho 1.18; Er 3.15; Tm 0.45; Yb 2.53; Lu 0.36; ∑ REE La–Lu до 400 г/т), в 2–3 раза превышающими таковые во

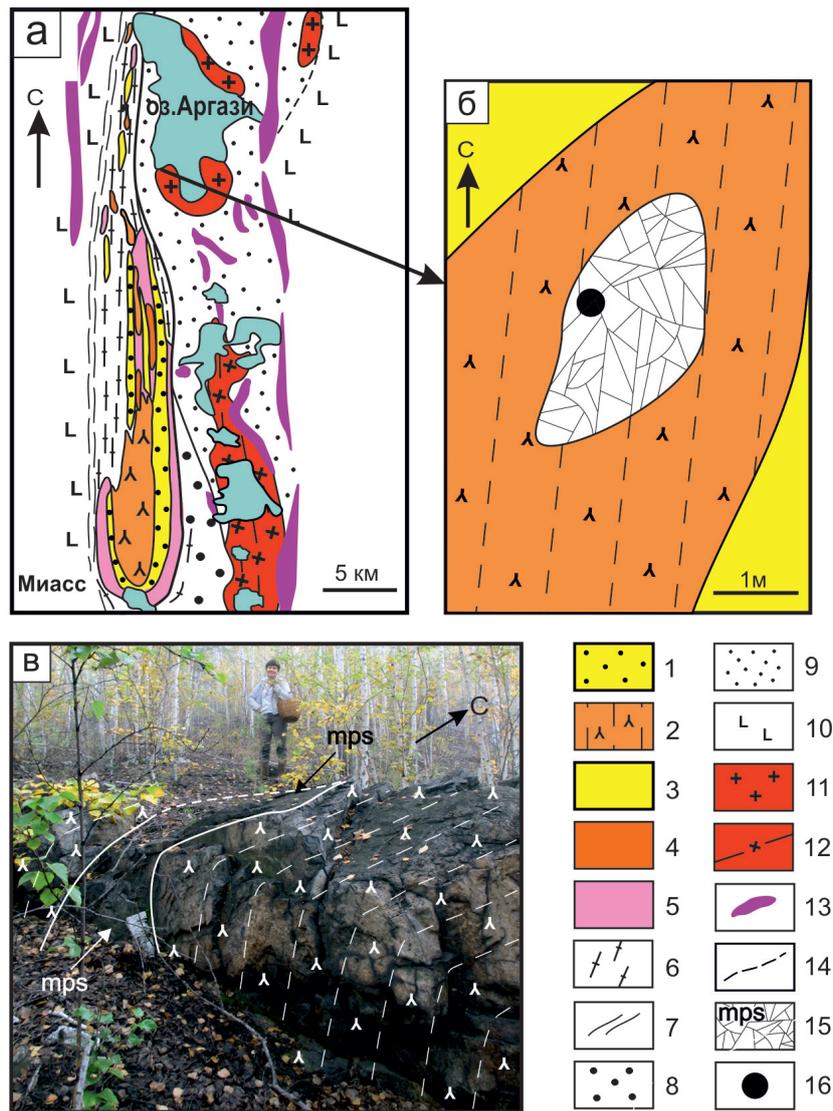


Рис. 1. Схема геологического строения: (а) ильменогорского полиметаморфического комплекса (по Русин и др., 2006; Юрецкий и др., 1982); (б) тела метапсевдотахилитов; (в) обнажение тела метапсевдотахилитов среди милонитизированных миаскитов.

1 – фенитовая оторочка; 2 – милонитизированные миаскиты (O_2); 3 – нерасчленённые щелочные породы (O_2); 4 – массивы сиенитов (O_2); 5 – селянкинская серия амфибол-гнейсово-плагиомигматитовая (AR-PR₁); 6 – бластомилониты гранитоидного и сиенитового состава (P_2 -T₁(?)); 7 – милониты Кыштымского сдвига-надвига; 8 – еланчиковская толща плагиосланцев и мигматитов инъекционного типа; 9 – сайтовская серия, метатерригенная; 10 – зеленосланцевые осадочно-вулканогенные комплексы Западно-Магнитогорской и Арамилско-Сухтелинской зон; 11 – Увильдинский монзонит-гранитный комплекс (Pz_3); 12 – гнейсовидные граниты Кисегачского комплекса; 13 – метагипербазиты; 14 – поздние тектонические разломы; 15 – тело метапсевдотахилитов; 16 – точка опробования.

Fig. 1. Schematic geological maps (a) of the Ilmeny-Vishnevogorsky polymetamorphic complex (after Rusin et al., 2006); (б) body of metapseudotachylytes (after Yuretskiy et al., 1982); (в) metapseudotachylytes body outcrop among milonitic miaskites.

1 – fenite; 2 – Middle Ordovician milonitic miaskites; 3 – Middle Ordovician indefinite alkaline rocks (O_2); 4 – Middle Ordovician syenite massifs (O_2); 5 – Selyankino Group: Archean to Early Proterozoic amphibolite-gneiss-plagiomigmatite rocks; 6 – Middle Permian-Lower Triassic (?) granitic and syenitic blastomylonites; 7 – mylonites of Kyshtym shear-thrust; 8 – Elanchik Sequence: plagioshales and injection migmatites; 9 – Saitovo Sequence: metaterrigenous rocks; 10 – greenschist volcanosedimentary complexes of West Magnitogorsk and Aramil-Sukhteli zones; 11 – Upper Precambrian Uvildy monzogranitic complex; 12 – gneissic granites Kisegach complex; 13 – metaultramafic rocks; 14 – late faults; 15 – body of metapseudotachylytes, 16 – the place of sample.



Рис. 2. Метапсевдотахилит кварц-биотит-полевошпатового состава.

Fig. 2. Quartz-biotite-feldspar metapseudotachylyte.

вещающих милонитизированных породах щелочного состава, а также U, Th и Y (U 6.71, U_{BM} 1.4–2.2; Th 29.3, Th_{BM} 0.18–2.5; Y 33.2, Y_{BM} 8.23–9.52).

Минеральный состав метапсевдотахилита

Калиевый полевой шпат (0.5–2 мм) соответствует ортоклаз-микроклину с примесью Ba (до 0.01 к.ф.). Плагноклаз (0.01–0.5 мм) представлен олигоклаз-альбитом (An 3–11). Темная слюда в псевдотахилите по составу соответствует промежуточному члену ряда аннит-флогопит с f 44–50 % и примесью Ti до 0.11 к.ф. Акцессорные ильменит и титаномагнетит образуют тонкодисперсную вкрапленность в метапсевдотахилитовом жильном агрегате. Ильменит представлен двумя генерациями: I – идиоморфными зернами с низким содержанием MnO (0.54–3.62 мас. %) и примесью Nb_2O_5 (0.60–1.10 мас. %) и II – ксеноморфными агрегатами с повышенной концентрацией MnO (до 5.23 мас. %). Кальцит образует ксеноморфные агрегаты (0.05–2 мм) в межзерновом пространстве рудных минералов, а также тонкие жилки в метапсевдотахилите. Для него характерно повышенное содержание MnO (1.53–1.57 мас. %) и незначительная примесь FeO (0.79–0.88 мас. %), SrO (0.66–0.82 мас. %). Апатит представлен отдельными редкими фрагментами зерен размером 0.01–0.02 мм. Циркон формирует призматические трещиноватые зерна и обломки зерен (0.05–1 мм), иногда образующие сростания с олигоклазом и ортоклаз-микроклином.

В его составе присутствует примесь Hf до 0.02 к.ф. Титанит представлен единичными обломками зерен (0.05–1 мм). Химические составы минералов представлены в табл. 1.

Метапсевдотахилит содержит Th-U-Y-REE минерализацию, представленную богатой вкрапленностью фергусонита-(Y) и «торогуммита». Эти минералы образуют ксеноморфные зерна размером 10 мкм, реже 40 мкм.

Фергусонит-(Y) приурочен к скоплениям ксеноморфных зерен ильменита в псевдотахилитовых жилках, где также присутствует тонкозернистый рекристаллизованный агрегат кварца и полевых шпатов. Сумма РЗЭ в этом минерале достигает 25 мас. %. Оптически неоднородное строение индивидов фергусонита-(Y) (рис. 3а), вероятно, обусловлено гидратацией поверхностных оболочек и уменьшением содержания ThO_2 (Попова и др., 2012; см. табл. 1). На поверхности зерен фергусонита часто наблюдается эпитактическое нарастание зерен ксеноморфного ильменита-II (1–5 мкм) (см. рис. 3б).

«Торогуммит» – продукт метамиктного распада и гидратации торита, представлен мелкими (1–30 мкм) ксеноморфными, часто катаклазированными зернами, которые наряду с рекристаллизованными зернами полевых шпатов, новообразованного альбита и катаклазированными зернами рудных минералов (ильменит, титаномагнетит) формируют хаотично расположенные жилки (см. рис. 3в). Состав минерала характеризуется широкой вариативностью: 40–9 мас. % ThO_2 , 5–29.0 мас. % UO_2 , 1–6 мас. % PbO. Суммарное содержание оксидов позволяет оценить присутствие в минералах этой группы воды в количестве от 4 до 7 мас. %, что, в среднем, укладывается в интервал от 5 до 15 мас. % (Минералы..., 1972).

Обсуждение результатов и выводы

В породах ВИПК широко развита РЗЭ минерализация (алланит, пироклор, монацит и др.), однако собственные минералы U и Th (торит, «торогуммит») встречаются редко. Распространение этих минералов хорошо изучено в пегматитовых телах (Заварицкий, 1939; Попов, Попова, 2006), в альбитизированных или грейзенизированных гранитах.

Метапсевдотахилит кварц-биотит-полевошпатового состава с Th-U-Y-REE минерализацией до 40 об. % сложен темными жильными образованиями, включающими в себя тонкодисперсный мате-

Таблица 1
Химический состав породообразующих минералов
(мас. % и к.а.ф.)

Table 1
Chemical composition of rock-forming minerals (wt. %, f.u.)

Компо- ненты	Ab		Kfs		Bt		Cal	
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	66.95	65.19	65.23	65.09	39.78	41.20	—	—
TiO ₂	—	—	—	—	1.86	1.76	—	—
Al ₂ O ₃	19.91	21.28	18.80	18.81	14.58	15.79	—	—
FeO	0.14	0.14	0.06	0.14	18.21	19.01	0.79	0.88
MnO	—	—	—	—	—	—	1.57	1.53
MgO	—	—	—	0.11	12.83	10.59	—	—
CaO	0.59	2.28	—	0.42	—	—	53.11	53.15
Na ₂ O	11.51	10.23	3.05	2.93	—	—	—	—
K ₂ O	0.14	0.18	12.54	11.7	9.01	8.63	—	—
BaO	0.39	0.15	—	—	—	—	—	—
SrO	—	—	—	—	—	—	0.66	0.82
CO ₂	—	—	—	—	—	—	43.5	43.4
Сумма	99.24	99.30	100.07	99.35	96.27	96.98	99.64	99.77

Si	2.95	2.89	2.98	3.00	3.01	3.11	—	—
Ti	—	—	—	—	0.11	0.10	—	—
Al	1.03	1.11	1.01	1.02	1.30	1.40	—	—
Fe ³⁺	0.01	0.01	0.00	0.01	1.15	1.20	—	—
Fe ²⁺	—	—	—	—	—	—	0.01	0.01
Mn	—	—	—	—	—	—	0.01	0.01
Mg	—	—	—	0.01	1.44	1.19	—	—
Ca	0.03	0.11	—	0.02	—	—	0.58	0.58
Na	0.98	0.88	0.27	0.26	—	—	—	—
K	0.01	0.01	0.73	0.69	0.87	0.83	—	—
BaO	0.01	0.00	—	—	—	—	0.00	0.00
SrO	—	—	—	—	—	—	—	—
CO ₂	—	—	—	—	—	—	0.40	0.39
*f	—	—	—	—	0.44	0.50	—	—

Примечание. Ab – альбит; Kfs – K-Na полевой шпат; Bt – биотит; Cal – кальцит. Здесь и в табл. 2 прочерк – не обнаружено.
Note. Ab – albite; Kfs – K-Na feldspar; Bt – biotite; Cal – calcite. Here and in Table 2, dash – not found.

риал к которому приурочена вкрапленность фергусонита и «торогуммита». Текстурно-структурные особенности породы не позволяют визуально достоверно оценить распределение минералов. Геохимические особенности метапсевдотахилита свидетельствуют о концентрациях РЗЭ (La-Lu, Y), а также U и Th, в два-три раза превышающих концентрации этих элементов во вмещающих милонитизированных породах щелочного состава. Такое контрастное соотношение концентраций этих элементов можно объяснить уникальностью генезиса самой породы. Псевдотахилиты являются результатом плавления ультракатакластического материала в зоне разломов. Они формируются

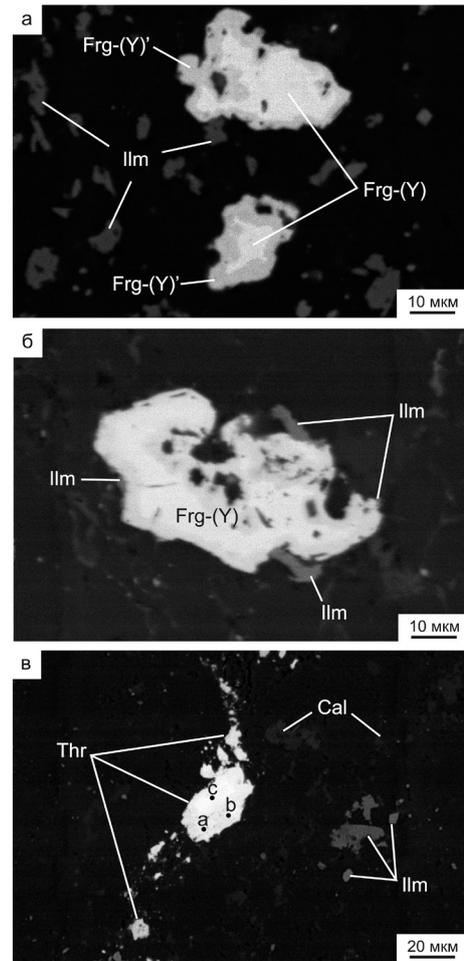


Рис. 3. Акцессорные Th-U-Y-REE-содержащие минералы метапсевдотахилита: а – ксеноморфные зональные зерна фергусонита-(Y); б – ксеноморфное зерно фергусонита-(Y) с эпитактичным нарастанием ильменита-II; в – катаклазированное зерно «торогуммита» с более мелкими фрагментами того же состава (а, б, с – точки химического состава, табл. 2). СЭМ-фото.

Fig. 3. Accessory Th-U-Y-REE-bearing minerals of metapseudotachylyte: а – anhedral zonal fergusonite-(Y) grains; б – anhedral fergusonite-(Y) grain with epitaxial ilmenite-II; в – cataclastic torogummite grain with smaller fragments of the same composition (а, б, с – analytical points; for chemical compositions, see Table 2). SEM-images.

сначала как катаклазиты или милониты, которые в дальнейшем плавятся под воздействием фрикционной теплоты. Фрикционное плавление породы возможно только в породе, содержащей кварц, в присутствии флюида и газа, возникающего в зоне разломов или поступающих с глубинных уровней (Родыгин, 2011). Специфика минеральной ассоци-

Таблица 2

Химический состав аксессуарных минералов (мас. % и к.а.ф.)

Table 2

Chemical composition of accessory minerals (wt. %, f.u.)

№ п/п	Zrn	Ilm		Frg-(Y)			Trh		
	9	10	11	12	13 (')	14	15 (a)	16 (b)	17 (c)
SiO ₂	31.90	–	–	–	–	–	16.37	16.52	20.35
TiO ₂	–	52.18	49.90	1.00	1.18	1.00	–	–	–
FeO	–	–	–	0.28	0.63	0.50	0.86	0.27	–
MnO	–	0.54	5.32	–	–	–	–	–	–
CaO	–	–	–	0.83	0.82	0.84	0.73	0.17	–
ZrO ₂	64.54	–	–	–	–	–	–	–	–
HfO ₂	2.61	–	–	–	–	–	–	–	–
Nb ₂ O ₅	–	1.07	–	48.23	48.10	48.59	–	–	–
Y ₂ O ₃	–	–	–	18.53	18.68	18.65	–	–	–
Nd ₂ O ₃	–	–	–	2.57	2.36	2.21	–	–	–
Sm ₂ O ₃	–	–	–	3.63	3.54	3.99	–	–	–
Gd ₂ O ₃	–	–	–	9.65	9.11	10.06	–	–	–
Tb ₂ O ₃	–	–	–	0.75	0.36	0.51	–	–	–
Dy ₂ O ₃	–	–	–	3.02	2.73	2.83	–	–	–
Ho ₂ O ₃	–	–	–	0.52	0.52	0.49	–	–	–
Er ₂ O ₃	–	–	–	2.77	3.03	2.89	–	–	–
Yb ₂ O ₃	–	–	–	2.08	2.80	1.86	–	–	–
PbO	–	–	–	–	–	–	6.10	6.01	1.39
ThO ₂	–	–	–	0.56	0.00	0.80	40.82	42.04	69.1
UO ₂	–	–	–	3.25	3.57	3.76	28.98	27.87	4.82
Σ	99.05	99.79	99.44	97.34	97.45	98.97	93.87	92.88	95.66

Si	0.99	–	–	–	–	–	0.93	0.96	1.09
Ti	–	1.01	0.95	0.04	0.04	0.04	–	–	–
Fe ³⁺	–	–	–	0.01	0.02	0.02	0.04	0.01	–
Fe ²⁺	–	0.98	0.93	–	–	–	–	–	–
Mn	–	0.01	0.11	–	–	–	–	–	–
Mg	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Ca	–	–	–	0.04	0.04	0.04	0.04	0.01	–
ZrO ₂	0.98	–	–	–	–	–	–	–	–
HfO ₂	0.02	–	–	–	–	–	–	–	–
Nb ₂ O ₅	–	–	–	1.03	1.02	1.02	–	–	–
Y ₂ O ₃	–	–	–	0.45	0.46	0.46	–	–	–
Nd ₂ O ₃	–	–	–	0.04	0.04	0.04	–	–	–
Sm ₂ O ₃	–	–	–	0.06	0.06	0.06	–	–	–
Gd ₂ O ₃	–	–	–	0.15	0.14	0.15	–	–	–
Tb ₂ O ₃	–	–	–	0.01	0.01	0.01	–	–	–
Dy ₂ O ₃	–	–	–	0.05	0.04	0.04	–	–	–
Ho ₂ O ₃	–	–	–	0.01	0.01	0.01	–	–	–
Er ₂ O ₃	–	–	–	0.04	0.04	0.04	–	–	–
Yb ₂ O ₃	–	–	–	0.03	0.04	0.03	–	–	–
PbO	–	–	–	–	–	–	0.09	0.09	0.02
ThO ₂	–	–	–	0.01	–	0.01	0.53	0.56	0.84
UO ₂	–	–	–	0.03	0.4	0.04	0.37	0.36	0.06

Примечание. Zrn – циркон; Ilm – ильменит; Frg-(Y) – фергусонит иттревый; Trh – торит.

Note. Zrn – zircon; Ilm – ilmenite; Frg-(Y) – yttrium fergusonite; Trh – thorite.

ации позволяет предположить, что исследованный метасевдотахилит мог образоваться по альбититу, сформировавшемуся в породах ЦЩП в постколлизийный период, а фрикционное плавление привело к дифференциации вещества и локализации

Th-U-Y-REE минерализации в тонкодисперсном материале. Основными минералами-концентраторами Th-U-Y-REE являются фергусонит-(Y) и «торогуммит» (см. табл. 2), которые образуют чрезвычайно мелкие индивиды. Вывод о принадлежности

минерального вида сделан на базе оптических наблюдений и микронзондовых анализов, уточнение полиморфной модификации столь малых индивидов не представляется целесообразным в рамках данной работы. Находка фергусонита-(Y) и «торо-гуммита» в метапсевдотахилитовых жилках существенно расширяет потенциальные возможности прогноза и оценки распределения этих минералов в метаморфических комплексах.

Работа выполнена при финансовой поддержке комплексной программы фундаментальных исследований (проект 18-5-5-48).

Литература

- Ворожук Д.В.** (2001) Полевые шпаты гранитоидных бластомилонитов: микроструктурные особенности и вариации химического состава. *Ежегодник-2000*. Екатеринбург, ИГГ УрО РАН, 102–110.
- Ерохин Ю.В., Смирнов В.Н., Иванов К.С., Захаров А.В., Хиллер В.В.** (2010) Первые данные о возрасте гранитных пегматитов Липовского поля (Средний Урал). *Магматизм и метаморфизм в истории земли. Мат. XI Всерос. петрограф. сов.* Екатеринбург, ИГГ УрО РАН, 1, 231–232.
- Заварицкий А.Н.** (1939) Геологический и петрографический очерк Ильменского минералогического заповедника и его копей. М., Главн. Упр. по заповедн., 196 с.
- Кирмасов А.Б.** (2011) Основы структурного анализа. М., Научный мир, 368 с.
- Кобяшев Ю.С., Никандров С.Н.** (2007). Минералы Урала. Екатеринбург, Квадрат, 312 с.
- Кошевой Ю.Н.** (1985) История формирования и структурная эволюция ильменогорского комплекса. Рукопись. Фонды ИГЗ, 313 с.
- Левин В.Я., Роненсон Б.М., Самков В.С., Левина И.А., Сергеев Н.С., Киселев И.П.** (1997) Щелочно-карбонатитовые комплексы Урала. Екатеринбург, Уралгеолком, 244 с.
- Ленных В.И., Вализер П.М.** (2006) К геологической схеме Ильменогорского комплекса. В сб.: *Геология и минералогия Ильменогорского комплекса: ситуация и проблемы*. Миасс, ИГЗ УрО РАН, 20–27.
- Макагонов Е.П., Муфтахов В.А.** (2015) Редкоземельно-редкометаллическая минерализация в поздних гранитах Сыростанского массива (Южный Урал). *Литосфера*, 2, 121–132.
- Медведева Е.В., Немов А.Б., Котляров А.В.** (2013) Милонитизированные породы Ильменогорского комплекса (Ю. Урал). *Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН*, 11, 7–10.
- Минералы: Справочник (1967). Сложные окислы, титанаты, ниобаты, танталаты, антимонаты, гидроокислы. М., Наука, 2(3), 251–260 (фергусонит).
- Минералы: Справочник (1972) Силикаты с одиночными и двояными кремнекислородными тетраэдрами. М., Наука, 3(1), 127–140 (торит).
- Немов А.Б.** (2014) Структурно-текстурные особенности миаскитовых милонитов Ильменогорского массива (Южный Урал). *Геология и минеральные ресурсы Европейского северо-Востока России. Мат. XVI. геолог. съезда респ. Коми*. Сыктывкар, ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2, 116–119.
- Петрографический кодекс России (2008) Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. СПб.: ВСЕГЕИ, 200 с.
- Попова В.И., Чурин Е.И., Блинов И.А., Губин В.А.** (2012) Фергусонит-(Y) и продукты его изменения в гранитном пегматите жилы Береговой Зенковского массива на Урале. *Новые данные о минералах*, 47, 47–55.
- Попов В.А., Попова В.И.** (2006). Минералогия пегматитов Ильменских гор. Минералогический альманах. М., Ассоциация ЭкоСт, Т. 9. 152 с
- Русин А.И., Краснобаев А.А., Русин И.А., Вализер П.М., Медведева Е.В.** (2006) Щелочно-ультраосновная ассоциация Ильменских–Вишневых гор. *Геохимия, петрология, минералогия и генезис щелочных пород. Мат-лы Всерос. сов.* Миасс, ИМин УрО РАН. 222–227.
- Родыгин А.И.** (2011) Динамометаморфические горные породы. Томск, Томский университет, 356 с.
- Скляров Е.В., Гладкочуб Д.П., Донская Т.В., Мазукабзов А.М., Сизых А.И., Буланов В.А.** (2001) Метаморфизм и тектоника. Учеб. пособие для вузов. М., Интернет-Инжиниринг, 216 с.
- Юрецкий В.Н., Петров В.И., Кузнецов Г.П., Левин В.Я., Пунегов Б.Н. и др.** (1982ф.) Отчет Ильменогорского геолого-съемочного отряда о результатах геологического доизучения масштаба 1 : 50000 Ильменогорской площади. Челябинск: ПГО «Уралгеология», ЧГРЭ.
- Hetzl R., Glodny J.** (2002) A crustal-scale, orogen-parallel strike-slip fault in the Middle Urals: age, magnitude of displacement, and geodynamic significance. *International Journal of Earth Sciences*, 91(2), 231–254.

References

- Erokhin Yu.V., Smirnov V.N., Ivanov K.S., Zakharov A.V., Khiller V.V.** (2010) [First data on the age of granite pegmatites of the Lipovka field (Central Urals)]. *Magmatizm i metamorfizm v istorii zemli [Magmatism and metamorphism in the Earth's evolution] Proceedings of XI All-Russian Petrographic Conference*. Yekaterinburg, UB RAS, 1, 231–232 (in Russian)
- Hetzl R., Glodny J.** (2002) A crustal-scale, orogen-parallel strike-slip fault in the Middle Urals: age, magnitude of displacement, and geodynamic significance. *International Journal of Earth Sciences*, 91(2), 231–254.

- Kirmasov, A.B.** (2011) [Basis principles of structural analysis]. Moscow, Nauchny mir, 346 p. (in Russian).
- Kobyashev Yu.S., Nikandrov S.N.** (2007). [Minerals of the Urals]. Yekaterinburg, Kvadrat, 312 p. (in Russian)
- Koshevoy Yu.N.** (1985) [Formation and structural evolution of the Ilmenogorsky complex]. Miass, Ilmeny State Reserve AS USSR, 313 p. (in Russian)
- Lennykh V.I., Valizer P.M.** (2006) [Geological scheme of the Ilmenogorsky complex]. *Geologiya i mineralogiya Il'menogorskogo kompleksa: situatsiya i problemy* [Geology and mineralogy of the Ilmenogorsky complex: situation and problems]. Miass, ISR UB RAS, 20–27. (in Russian)
- Levin V.Ya., Ronenson B.M., Samkov V.S., Levina I.A., Sergeev N.S., Kiselev I.P.** (1997) [Alkaline carbonate complexes of the Urals]. Yekaterinburg, Uralgeolkom, 244 p. (in Russian)
- Makagonov E.P., Muftakhov V.A.** (2015) [Rare earth and rare metal mineralization of late granites of the Syrostan pluton (Southern Urals)]. *Litosfera* [Lithosphere], (2), 121–132. (in Russian)
- Medvedeva E.V., Nemov A.B., Kotlyarov A.V.** (2013) [Mylonitized rocks of the Ilmenogorsky complex (South Urals)]. *Vestnik IG Komi SC UB RAS* [Bulletin of IG Komi SC UB RAS], (11), 7–10. (in Russian)
- [Minerals: Handbook] (1967) Complex oxides, titanates, niobates, tantalates, antimonates, hydroxides. M., Nauka, 2(3), 676 p. (in Russian)
- [Minerals: Handbook] (1972) Silicates with single and double silicon-oxygen tetrahedra. M., Nauka, 3(1), 884 p. (in Russian)
- Nemov A.B.** (2014) [Structural-textural features of mylonites of the Ilmenogorsky miaskite pluton (South Urals)]. *Geologiya i mineral'nye resursy evropeiskogo severo-vostoka Rossii* [Geology and mineral resources of the European Northeast of Russia]. *Proceedings of the XVI Geological Congress of Komi Republic*. Syktyvkar, IG Komi SC UB RAS, 2, 116–119. (in Russian)
- [Petrographic code of Russia. Igneous, metamorphic, metasomatic, and impact rocks] (2008). St. Petersburg, VSEGEI, 200 p. (in Russian).
- Popova V.I., Churin E.I., Blinov I.A., Gubin V.A.** (2012) [Fergusonite-(Y) and products of its alteration of granite pegmatite of the Beregovaya vein of the Zenkov pluton, Urals]. *Novye dannye o mineralakh* [New data on minerals], 47, 47–55. (in Russian)
- Popov V.A., Popova V.I.** (2006) [Mineralogy of pegmatites of the Ilmeny Mountains. Mineralogical almanac]. Moscow, Associaciya Ekost, 9, 152 p.
- Rusin A. I., Krasnobaev A. A., Rusin I. A., Valizer P.M., Medvedeva E.V.** (2006) [Alkaline-ultramafic association of the Ilmeny-Vishnevy Mountains]. *Geokhimiya, petrologiya, mineralogiya i genesis shchelochnykh porod. Materialy vserossiyskogo soveshchaniya* [Geochemistry, petrology, mineralogy, and genesis of alkaline rocks. Materials of All-Russian conference]. Miass, IMin UrO RAN. 222–227. (in Russian)
- Rodygin A.I.** (2001) [Dynamometamorphic rocks]. Tomsk, Tomsk University, 356 p. (in Russian)
- Sklyarov E.V., Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Mazukabzov A.M., Sizykh A.I., Bulanov V.A.** (2011) [Metamorphism and tectonics]. Moscow, Intermet-Inzhiniring, 216 p. (in Russian)
- Voroschuk D.V.** (2001) [Feldspars of granitoid blastomylonites: microstructural features and variations in chemical composition]. *Ezhegodnik-2000* [Yearbook-2000]. Yekaterinburg, IGG UB RAS, 102–110. (in Russian)
- Yuretsky V.N., Petrov V.I., Kuznetsov G.P., Levin V.Ya., Punegov B.N.** (1982) [Unpublished report of Ilmenogorsky geological survey group on the results of geological study of the Ilmeny area on a scale of 1 : 50 000]. Chelyabinsk: PGO «Uralgeologiya». (in Russian)
- Zavaritsky A.N.** (1939) [Geological and petrographic sketch of the Ilmeny Mineralogical Reserve and its mines] Moscow, Main Directorate for Reserves, 196 p. (in Russian)

Статья поступила в редакцию 18 сентября 2018 г.